

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL E EXTENSÃO  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MBA EM GESTÃO FLORESTAL

**PRODUTIVIDADE NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL –  
ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE DUAS  
ESPÉCIES FLORESTAIS.**

**Charles Werneck de Andrade Silva**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL E EXTENSÃO  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MBA EM GESTÃO FLORESTAL

**PRODUTIVIDADE NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL –  
ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE DUAS  
ESPÉCIES FLORESTAIS.**

**Charles Werneck de Andrade Silva**

Orientador: Prof. Nelson Yoshihiro Nakajima  
Co-orientadora: Tatiana Cristina Guimarães Kaminski

Curitiba – PR  
2020

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	14
2.1. Localização e caracterização das áreas de estudo .....	14
2.2. Plantio Florestal.....	16
2.3. Amostragem .....	16
2.4. Procedimentos Estatísticos .....	17
2.4.1. Carbonização .....	17
2.4.2. Carga do Forno .....	17
2.4.3. Câmara ou baianas de combustão.....	18
2.4.4. Carbonização dos Fornos .....	18
2.4.5. Resfriamento .....	19
2.4.6. Propriedades do Carvão Vegetal.....	20
2.5. Sistema de Produção de Carvão Vegetal.....	20
2.5.1. Caracterização dos carvões produzidos.....	21
2.5.2. Análise do carvão vegetal produzido.....	21
2.5.3. Características físicas dos carvões produzidos.....	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	26
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de Localização Fazenda Morro Alto.....	14
Figura 2 – Mapa de Localização Fazenda Cachoeira.....	15
Figura 3 – Mapa de Localização Carvoaria Tamanduá.....	15
Figura 4 – Mapa de Localização do Acompanhamento do Corte de Madeira.....	16
Figura 5 – Enchimento do Forno.....	18
Figura 6 – Combustão do Forno.....	18
Figura 7 – Carbonização dos Fornos.....	19
Figura 8 – Resfriamento dos Fornos.....	19
Figura 9 – Carvão Produzido.....	22
Figura 10 – O gráfico demonstra o percentual de Umidade Aparente e a Densidade Básica da Madeiras.....	23

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores da densidade básica e da umidade aparente das madeiras de <i>Eucalyptus saligna</i> e <i>Eucalyptus urograndis</i> , dados em g/cm <sup>3</sup> .....	23
Tabela 2 – Média produzida durante o processo de carbonização da madeira da Fazenda Morro Alto, Talhão 01, Espécie Clone <i>urograndis</i> GG100.....	24
Tabela 3 – Média produzida durante o processo de carbonização da madeira da Fazenda Cachoeira, Talhão 03, Espécie Clone <i>saligna</i> 2864 .....	24
Tabela 4 – Média do resultado da análise imediata das nove amostras do carvão produzido da madeira da Fazenda Morro Alto, Talhão 01, Espécie Clone <i>urograndis</i> GG100.....	24
Tabela 5 – Média do resultado da análise imediata das nove amostras do carvão produzido da madeira da Fazenda Cachoeira, Talhão 03, Espécie Clone <i>saligna</i> 2864 .....	25
Tabela 6 – Média da análise química imediata do carbonizado dos clones do <i>E. urograndis</i> GG100.....	25
Tabela 7 – Média da análise química imediata do carbonizado dos clones do <i>E. saligna</i> 2864.....	25

## PRODUTIVIDADE NA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL – ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE DUAS ESPÉCIES FLORESTAIS.

**RESUMO** – O carvão vegetal é obtido através da pirólise da madeira em fornos tradicionais ou industrializados. O Brasil é o maior produtor mundial com 20,24 % da produção mundial, sendo também um dos maiores consumidores. A maior parte desta produção ainda é realizada de forma artesanal ocasionando problemas ambientais e de insalubridade aos colaboradores. Além disso, os produtores de carvão vegetal encontram-se cada vez mais pressionados pelos órgãos ambientais e pela legislação trabalhista. Estas exigências e alguns aspectos tecnológicos elevam os custos operacionais dos sistemas tradicionais e ocasionam situações indesejáveis entre produtores e os órgãos legais. Os dados deste trabalho foram obtidos mediante contato direto, estabelecido com representante de empresas nacionais produtora dos sistemas em análise e através de buscas em artigos da literatura, revista e sites. O presente trabalho propôs analisar comparativamente a produção de carvão vegetal utilizando duas espécies florestais plantadas, Clone de *Eucalyptus urograndis* GG100 e Clone de *Eucalyptus saligna* 2864, sistemas produtivos de carvão vegetal em fornos de alvenaria “Rabo Quente”. Foram abatidas duas espécies de *Eucalyptus* e determinamos os rendimentos da produtividade e a caracterização do carvão produzido pelas espécies utilizadas. As carbonizações foram realizadas em fornos convencionais e as análises dos carvões foram realizadas no laboratório da empresa, onde determinou-se o rendimento em poder calorífico superior, teor de carbono fixo, porosidade, densidades verdadeira e aparente, teor de cinzas, teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo dos carvões produzidos. Os resultados obtidos mostraram que os rendimentos e as características físicas do carvão vegetal foram semelhantes entre as espécies.

**Palavras-Chave:** Laboratório, Madeira, Pirólises

## PRODUCTIVITY IN CHARCOAL PRODUCTION - A COMPARATIVE CASE STUDY BETWEEN TWO FOREST SPECIES

**ABSTRACT** – The charcoal is obtained by pyrolysis of wood in traditional or industrialized ovens. Brazil is the world's largest producer with 20.24% of world production, and is also one of the largest consumers. Most of this production is still carried out in an artisan way, causing environmental problems and insalubrity to employees. In addition, charcoal producers are increasingly pressured by environmental agencies and labour legislation. These demands and some technological aspects raise the operating costs of traditional systems and cause undesirable situations between producers and legal bodies. The data of this work were obtained through direct contact, established with representative of national companies producer of the systems in analysis and through searches in literature articles, magazine and websites. The present work proposed to analyze comparatively the charcoal production using two planted forest species, clone of *Eucalyptus urograndis* GG100 and clone of *Eucalyptus saligna* 2864, in productive systems of charcoal in "Rabo Quente" ovens. Two species of Eucalyptus were harvested and it was determined the productivity yields and the characterization of the coal produced by the species used. The carbonization was carried out in conventional ovens and the analyzes of the coals were carried out in the Laboratory, where it was determined the yield in higher calorific value, fixed carbon content, porosity, true and apparent densities, ash content, volatile material content and the fixed carbon content of the coals produced. The results obtained showed that the yields and physical characteristics of the charcoal were similar between the species.

**Keywords:** Laboratory, Pyrolysis, Wood

## 1. INTRODUÇÃO

O setor florestal era pouco expressivo dentro da economia brasileira até o final da década de 1960, quando a indústria era incipiente e não possuía fontes seguras de abastecimento (MACHADO, 2008). Entretanto, no final da década de 1960 com a criação da política governamental dos incentivos fiscais, que objetivou diminuir a exploração indiscriminada dos recursos florestais naturais por meio da implantação de florestas de rápido crescimento, o setor florestal tomou um impulso. Neste período, o setor florestal atingiu um significativo nível de produtividade dos plantios, proporcionado pelas condições climáticas, de solo, disponibilidade de área, formação de mão-de-obra especializada e o desenvolvimento de novas tecnologias. Além disso, o setor florestal por meio de suas indústrias tem contribuído com a sociedade, colocando no mercado materiais imprescindíveis à população, como celulose, papel, madeira em tora e serrada, chapas, compensados, aglomerados e carvão vegetal.

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal, especificamente para obtenção de ferro liga, matéria prima básica para a produção do aço. A produção está concentrada no estado de Minas Gerais, que possui a maior área plantada com florestas de eucalipto, de alta produtividade, gerando milhares de empregos diretos e indiretos e a respectiva arrecadação de impostos e outros benefícios sociais e ambientais. Diversas certificações de terceira parte atestam, não só, a qualidade dos empreendimentos florestais, conduzidos sob regime de manejo sustentável, como do atendimento a normas e preceitos de saúde, segurança e meio ambiente. (AGROOLHAR,2014).

Estudos sobre o setor siderúrgico brasileiro apontam que cerca de 35 % da produção de certos fundidos de ferro utilizam como termo-redutor o carvão vegetal, tornando-se o maior produtor do mundo de ferro-gusa e carvão vegetal, só que maior parte desta produção de carvão vegetal ainda é produzida de forma artesanal, ocasionando problemas ambientais e de insalubridade aos trabalhadores. (AGROOLHAR,2014).

No estado de São Paulo, principalmente na região de Itapeva situada no sudoeste paulista, o ferro-gusa e o aço provêm apenas de altos-fornos a carvão vegetal. No entanto é importante realçar que a dureza do aço vem do carbono do carvão e não do ferro. Porém o carvão vegetal é mais utilizado que o carvão mineral



devido as suas vantagens ecológicas. Os produtores da região de Itapeva, independentemente da escala de produção, têm sentido os impactos no custo operacional devido à crescente fiscalização dos órgãos legais e ambientais, verificando as exigências se os mesmos utilizam a mão-de-obra de forma regulamentada e se adquirem a matéria-prima legalizada, atendendo ao mesmo tempo aos apelos do mecanismo de desenvolvimento limpo, prevenção da poluição e a produção mais limpa. A busca por alternativas que atendam a estes propósitos de forma econômica traz a necessidade de processos mais eficientes. Por esta razão surge a necessidade de mudanças desses sistemas produtivos, de modo que a qualidade do produto não seja afetada.

A facilidade de conversão e a qualidade do carvão vegetal estão diretamente relacionada com a espécie de madeira e os fatores ambientais e tecnológicos. *Eucalyptus saligna* 2864 conhecido popularmente como eucalipto-azul-de-sidney, árvore perenifólia, de 20-30 m de altura, originária da Austrália, de tronco ereto com casca lisa descamante, algumas vezes persistente na base, de cor acinzentada ou branco-azulada, ramagem aberta formando copa rala. (VITAL, B. R, 1984)

A utilização de uma determinada madeira a ser carbonizada para fins energéticos deve se basear no conhecimento do seu poder calorífico e no seu potencial para produção de biomassa. O valor prático de um combustível pode ser indicado pela quantidade de energia fornecida por unidade de massa na sua combustão, valor este denominado Poder Calorífico. Algumas características do carvão influenciam o valor do seu Poder Calorífico. Quanto menor o teor de umidade do produto, maior será a produção de calor líquido por unidade de massa em sua combustão. Parte da energia é absorvida para vaporizar a umidade própria do carvão, diminuindo assim a quantidade de calor útil liberado em sua queima. (ZAMBRZYCKI, 2018).

Outro fator importante está relacionado às propriedades físico-químicas da madeira em que é produzido o carvão vegetal. Quanto maior a densidade da madeira e seu teor de lignina, maior será o rendimento em carvão vegetal, bem como maior será a quantidade de energia liberada em sua combustão, e tais características estão diretamente relacionadas à matéria-prima utilizada. Segundo Trugilho (2005), as diferenças nas propriedades químicas de diversas espécies lenhosas exercem uma grande variabilidade na qualidade do carvão vegetal, e o poder calorífico superiores da madeira é função da sua composição química

elementar, em uma relação direta com o teor de carbono e de hidrogênio e inversa com o teor de oxigênio.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a produtividade dos fornos com a carbonização, afim de obter dados comparativos para poder calorífico, carbono fixo, umidade aparente, materiais voláteis, cinzas e finos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado um estudo de caso, aplicado junto a uma empresa siderúrgica onde foram coletados os seguintes dados: consumo de madeira, tiço gerado, real consumido, toneladas por fornos fator de conversão, ciclo do forno. Os dados foram coletados com a supervisão do encarregado da área feito através de uma entrevista e acompanhamento da coleta das informações da produção dos fornos.

O experimento foi de 30 dias coletando as informações a cada 10 dias corridos assim acompanhando o ciclo dos fornos. A empresa utiliza o sistema tradicional, ou seja, fornos convencionais do tipo “Rabo Quente”.

### 2.1. Localização e caracterização das áreas de estudo

As áreas de estudo estão situadas em Itapeva, região sudoeste do Estado de São Paulo, a 270 km da capital.

A fazenda Morro Alto esta localizada a 24°03'33" sul de latitude e 48°52'72" oeste de longitude, apresentando uma área total de 10,59 ha estando a 730m a nível do mar.

Figura 1 – Mapa de Localização Fazenda Morro Alto



Fonte: Google Earth (2019).

A fazenda Cachoeira está localizada a 24°03'34" sul de latitude e 48°53'75" oeste de longitude, apresentando uma área total de 36,16 ha estando a 749 m a nível do mar.

Figura 2 – Mapa de Localização Fazenda Cachoeira



Fonte: Google Earth (2019).

A carvoaria também situada no município de Itapeva, está inserida na fazenda Tamanduá, Localizada a  $71^{\circ}42'31''$  sul de latitude e  $73^{\circ}34'95''$  oeste de longitude.

Figura 3 – Mapa de Localização Carvoaria Tamanduá



Fonte: Google Earth (2019).



## 2.2. Plantio Florestal

Para o estudo foram utilizados os dois clones, sendo o de *Eucalyptus urograndis* GG100 e o *Eucalyptus saligna* 2864 com o espaçamento 3,0 m por 2,0 m, totalizando 6m<sup>2</sup>. A escolha dos clones foi de acordo com sua finalidade pois são as espécies mais plantadas para fins industriais na região Sul e Leste do Brasil, destinadas para a produção de carvão vegetal.

As espécies utilizadas no experimento estavam com 7 anos de idade, e foram processadas em fevereiro de 2017, resultando em 690m/st, com tempo de secagem de aproximadamente 90 dias, sendo 30 dias no campo e 60 dias em pilha, as quais foram seccionadas em toretes de aproximadamente 2,0 m de comprimento.

Figura 4 – Mapa de Localização do Acompanhamento do Corte de Madeira



Fonte: o autor (2019).

## 2.3. Amostragem

A coleta resultou em 18 amostras, sendo nove de *Eucalyptus urograndis* GG100 e nove de *Eucalyptus saligna* 2864. Cada amostra foi dividida em partes, com diâmetro limite do comprimento da madeira de 2,0 m.

De cada parte retirou-se um disco descascado de 2,5 cm de espessura, sendo representadas por seis blocos: Para cada discos foram retirados cunhas de 45° opostas. Cada cunha foi dividida em 5 partes: de relação ao raio, da medula em direção à casca.

A amostragem totalizou em 18 tratamentos, dividido em 6 partes iguais para a determinação da densidade básica foi utilizado o Método do Máximo Teor de Umidade, conforme proposto por (FOELKEL, C.E.B.,BRASIL, M.A.M. & BARRICHELO, L.E.G. 1972).

#### 2.4. Procedimentos Estatísticos

Os resultados foram avaliados quanto à sua variabilidade por parâmetros estatísticos de medida de dispersão (desvio padrão, coeficiente de variação, média aritmética). As diferenças entre tratamentos foram testadas por análise de variância ANOVA, valendo-se do teste F de significância. Adotou-se o nível de 5% de significância para as comparações.

Os valores da densidade básica da madeira e unidade básica aparente de *Eucalyptus saligna* 2864 e *Eucalyptus urograndis* GG100 são uma média aritmética das repetições para cada espécie.

##### 2.4.1. Carbonização

A carbonização de lenha é praticada de forma tradicional em fornos de alvenaria com ciclos de aquecimento e resfriamento que duram até 10 dias. A temperatura mínima de carbonização é de 345°C e a máxima é de 440°C aproximadamente.

A carbonização teve um ciclo de 6 dias, e o resfriamento teve um ciclo de 4 dias, assim o processo de carbonização e resfriamento do forno teve o ciclo completo com 10 dias para a produção do carvão vegetal, Os fornos utilizados para o experimento foram os de número 66; 67; 68; 69; 70; 71; localizados na carvoaria Tamanduá, onde ambos continham a mesma quantidade de madeira enfiada para o processo de carbonização.

##### 2.4.2. Carga do Forno

De início foi realizado o carregamento dos fornos, de madeira onde a base (pé) da madeira ficasse para cima encostadas umas nas outras.

Deixou-se um corredor entre os lados da madeira enfiada para facilitar o retaco (madeira enfiada horizontalmente em cima da madeira em pé), de maneira que os espaços fossem preenchidos até o teto do forno.

Figura 5 – Enchimento do Forno



Fonte: o autor (2019).

#### 2.4.3. Câmara ou baianas de combustão

Após a ignição do forno, a câmara foi fechada, deixando apenas um orifício aberto (tatu), que foi totalmente fechado após a mudança de coloração da fumaça liberada pelas chaminés.

Figura 6 – Combustão do Forno



Fonte: o autor (2019).

#### 2.4.4. Carbonização dos Fornos

Para iniciar a carbonização dos fornos, foi fechado todos os crivos (aberturas na lateral do forno), trabalhando somente com as chaminés.



A finalização da carbonização foi dada na medida em que a coloração da fumaça passou de branca para azulada, (na chaminé) até ficar transparente, o que deixa uma cor acinzentada na borda da mesma, o tempo de carbonização foi de seis dias.

Figura 7 – Carbonização dos Fornos



Fonte: o autor (2019).

#### 2.4.5. Resfriamento

A finalização da carbonização, as chaminés foram fechadas, foram barreladas as trincas das portas e chaminés, e no outro dia foi feito o barrelamento total no forno, o resfriamento foi de quatro dias.

Figura 8 – Resfriamento dos Fornos



Fonte: o autor (2019).



#### 2.4.6. Propriedades do Carvão Vegetal

Os rendimentos na produção do carvão foram determinados no procedimento de gases não condensáveis e líquido pirolenhoso, em relação à madeira seca, pelas Equações (OLIVEIRA et al, 2010):

$$R_c = (P_c / P_m) * 100. R_l = (P_l / P_m) * 100. R_g = 100 - (R_c + R_l).$$

Onde:

$R_c$  = rendimento em carvão (%)

$R_l$  = rendimento em líquido pirolenhoso(%)

$R_g$  = rendimento em gases não-condensáveis(%)

$P_c$  = peso do carvão(kg)

$P_m$  = peso seco dos cavacos de madeira(kg)

$P_l$  = peso do líquido pirolenhoso(kg)

A composição química imediata foi determinada de acordo com a Norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1983), com a determinação de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, em base seca.

A densidade aparente do carvão foi determinada de acordo com Vital (1984). A densidade verdadeira foi determinada de acordo com a Norma ABNT NBR 1986 (1985). A porosidade do carvão é obtida a partir dos dados das densidades aparente e verdadeira, através da fórmula:

$$P(\%) = 100 - (DA * 100) / DV$$

Onde:

$P(\%)$  = Porosidade em %

$DA$  = Densidade Relativa Aparente(kg)

$DV$  = Densidade Relativa Verdadeira(kg)

#### 2.5. Sistema de Produção de Carvão Vegetal

O carvão vegetal é produzido a partir da lenha pelo processo de carbonização ou pirólise da madeira (JOAQUIM, 2009).

Nesse trabalho para o sistema de produção de carvão vegetal, foi utilizado 6 fornos circulares “Rabo Quente”, convencionais foi utilizado um volume médio de 39 m<sup>3</sup>/st de madeira, sendo o ciclo de carbonização de 10 dias, desde o enchimento do forno com madeira até a retirada do carvão.

O experimento foi de trinta dias, após cada carbonização os fornos foram descarregados e o carvão produzido, levado para análise em laboratório.

#### 2.5.1. Caracterização dos carvões produzidos

Para a caracterização do carvão realizaram-se análises químicas imediatas, determinação do rendimento em carbono fixo, determinação das densidades verdadeira e aparente, porosidade e poder calorífico superior. As análises químicas imediatas foram efetuadas de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 8112 da Associação Brasileira de Normas Técnica – ABNT (1983), com determinações de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo em base seca. O rendimento em carbono fixo foi obtido pelo produto entre teor de carbono fixo e rendimento gravimétrico da carbonização. A densidade verdadeira e aparente do carvão, e a porosidade foram conduzidas de acordo com (SEMANTICSCHOLAR 2020). O poder calorífico superior foi determinado por meio de um calorímetro adiabático, conforme NBR 8633 (ABNT, 1983). Todas as análises foram em duplicata.

#### 2.5.2. Análise do carvão vegetal produzido

Tanto para a análise química imediata do carvão vegetal quanto para o poder calorífico superior, as amostras foram moídas e peneiradas a uma granulometria de aproximadamente 0,2 mm, conforme normas brasileiras relatadas.

Para a análise imediata foram coletadas amostras simples de cada um dos carvões vegetais para análises em triplicata. O material volátil é emitido durante o aquecimento do carvão vegetal sendo constituído de moléculas de CO, CO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos. A quantidade de carbono que não volatiliza recebe o nome de carbono fixo. Assim, o teor de materiais voláteis (MV) foi determinado pelo aquecimento do material a  $900 \pm 10^{\circ}\text{C}$ , em forno mufla, com as amostras tampadas em cadinhos. As amostras foram inicialmente levadas à porta da mufla por três minutos, para aclimação, e ficaram por mais sete minutos, no interior do

equipamento, com a porta fechada. O teor de carbono fixo foi calculado pela soma dos teores de materiais voláteis e cinzas, subtraído de 100. A cinza é o resíduo composto de óxidos minerais obtidos ao final, ou seja, a combustão completa do carvão vegetal.

### 2.5.3. Características físicas dos carvões produzidos

As espécies estudadas produziram carvões de densidades verdadeiras e porosidades semelhantes, diferindo apenas a densidade aparente. O poder calorífico superior dos carvões foi semelhante, não apresentando diferenças significativas entre as espécies analisadas.

Figura 9 – Carvão Produzido



Fonte: o autor (2019).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo constou com a avaliação de dois clones de *Eucalyptus urograndis* GG100 e o *saligna* 2864. Na Tabela 1 encontram-se os valores médios da densidade básica e o teor de umidade das madeiras utilizadas no experimento. Nas duas espécies avaliadas observou-se que a densidade básica e o teor de umidade foram semelhantes. Essa característica da madeira é considerada fundamental na avaliação de espécies carbonizadas, como clones de eucalipto, para a produção de carvão vegetal (PROTÁSIO et al., 2013).

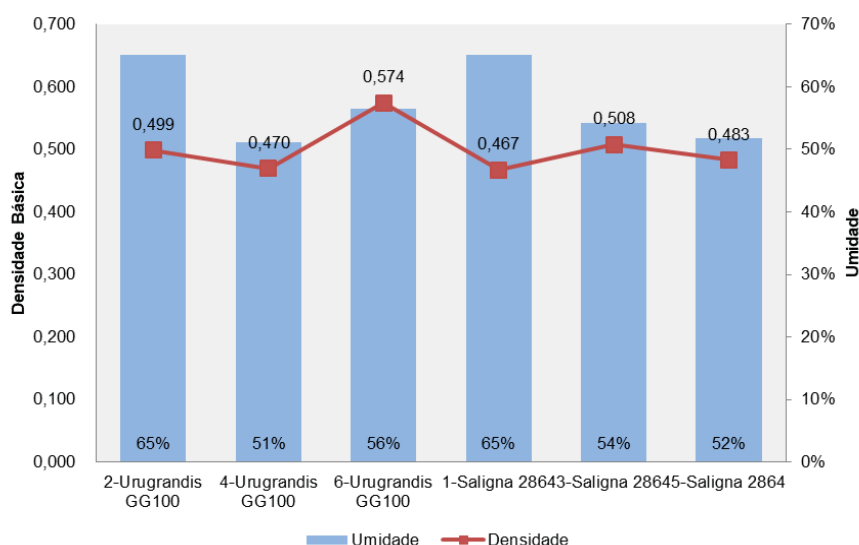
Demonstra o percentual de Umidade Aparente e a Densidade Básica da madeira utilizada no enformamento para produção de carvão vegetal.

Tabela 1 – Valores da densidade básica e da umidade aparente das madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urograndis*.

Espécie	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade (%)
2-Urugrandis GG100	0,499	65 a
4-Urugrandis GG100	0,470	51 a
6-Urugrandis GG100	0,574	56 a
1-Saligna 2864	0,467	65 b
3-Saligna 2864	0,508	54 b
5-Saligna 2864	0,483	52 b

Fonte: o autor (2019).

Figura 10 – Percentual de Umidade Aparente e a Densidade Básica da Madeiras



Fonte: o autor (2019).

As duas espécies submetidas às mesmas condições de produção, obtiveram os resultados expostos nas tabelas 2 e 3. Por meio dos resultados obtidos, observou que o *E. urograndis* GG100 obteve 3,62 toneladas por forno e o *E. saligna* 2864 obteve 3,37 toneladas por forno. Apesar disso, comparando o fator de conversão st/t

de cada uma delas, percebe-se que não possuem uma diferença significativa, estando dentro do limite aceitável.

Tabela 2 – Média produzida durante o processo de carbonização da madeira da Fazenda Morro Alto, Talhão 01, Espécie Clone urograndis GG100

Volume consumido (st)			Prod. Carvão		Fator conversão st/t	Ciclo (dias)
Madeira	Tiço gerado	Real	Sacos	Ton.		
39	1	37,89	146	3,62	10,47	10

Fonte: o autor (2019).

Tabela 3 – Média produzida durante o processo de carbonização da madeira da Fazenda Cachoeira, Talhão 03, Espécie Clone saligna 2864

Volume consumido (st)			Prod. Carvão		Fator conversão st/t	Ciclo (dias)
Madeira	Tiço gerado	Real	Sacos	Ton.		
39	0,67	38,83	140	3,37	11,42	10

Fonte: o autor (2019).

Os valores médios da análise imediata das 18 amostras do carvão produzido por cada uma das espécies de eucaliptos utilizadas no experimento. O carbono fixo de ambos os resultados foi semelhante, entretanto, apesar da produção do clone *urograndis* GG100 ser maior, ao *saligna* 2864 possui uma porcentagem maior de carbono fixo produzido. Este é um fator extremamente relevante para os resultados desta pesquisa, considerando que o carbono fixo é o elemento principal para produção de ferro liga.

Tabela 4 – Média do resultado da análise imediata das nove amostras do carvão produzido da madeira da Fazenda Morro Alto, Talhão 01, Espécie Clone urograndis GG100

Análise Imediata (%)				Umid. (%)	Finos (%)
M. Voláteis	Cinzas	C. Fixo	Total		
17,0	2,0	81,1	100,0	8,86	9,38

Fonte: o autor (2019).

Tabela 5 – Média do resultado da análise imediata das nove amostras do carvão produzido da madeira da Fazenda Cachoeira, Talhão 03, Espécie Clone saligna 2864

Análise Imediata (%)				Umid. (%)	Finos (%)
M. Voláteis	Cinzas	C. Fixo	Total		
16,5	1,9	81,6	100,0	8,68	9,91

Fonte: o autor (2019).

As médias obtidas nas análises do carvão dos clones *E. urograndis* GG100 e *E. saligna* 2864 nos parâmetros: Teor de Umidade (W), Materiais Voláteis (V), Teor de Cinzas (A) e Teor de Carbono Fixo (F), (MONTEIRO, 2014).

Tabela 6 – Média da análise química imediata do carbonizado dos clones do *E. urograndis* GG100

Árvore	1	2	3	4	5	Média	Variância	CV (%)
Carbono (F) %	81,44	78,05	81,5	79,95	79,95	80,18	0,02	1,57
Voláteis (V) %	15,39	20,7	18,21	18,82	18,82	18,55	3,19	9,63
Cinzas (A) %	3,17	1,25	0,29	1,23	1,23	1,27	1,06	81,16

Fonte: Monteiro (2014).

Tabela 7 – Média da análise química imediata do carbonizado dos clones do *E. saligna* 2864

Árvore	1	2	3	4	5	Média	Variância	CV (%)
Carbono (F) %	82,44	79,05	80,9	80,95	82,95	81,26	0,06	1,59
Voláteis (V) %	16,39	21,9	19,22	18,89	18,81	19,04	3,22	9,6
Cinzas (A) %	3,18	1,23	0,32	1,29	1,35	1,47	1,08	81,19

Fonte: Monteiro (2014).

Segundo Monteiro et al. (2014), altos teores de umidade causam perda de poder calorífico, perdas de energia, baixa ignição, baixa durabilidade e menor tempo de estocagem, características totalmente indesejáveis. O perfil de teor de umidade depende da origem e dos processos pelo qual a madeira foi submetida. Ao analisar *E. urograndis* com idade de 7 anos foram obtidos valores para (i) materiais voláteis com aproximadamente 18,55%; (ii) carbono fixo entre 80,18%; e (iii) teores de cinzas com 1,27%. Para o *E. saligna* com idade de 7 anos, foram obtidos valores para (i) materiais voláteis com aproximadamente de 19,04%; (ii) carbono fixo entre 81,26%; e teores de cinzas com 1,47%, sendo os valores semelhantes aos encontrados nesse trabalho.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As madeiras das espécies ensaiadas apresentaram rendimento em carvão vegetal semelhantes. A conversão do carvão vegetal da espécie *Eucalyptus saligna* 2864 foi maior de 11,42 st/ton que *Eucalyptus urograndis* GG100 de 10,47 st/ton e a espécie apresentou a menor conversão. Já a densidade verdadeira, a porosidade e o poder calorífico superior do carvão vegetal foram semelhantes.

O carvão vegetal produzido com a *Eucalyptus saligna* 2864 apresentou menores teores de voláteis e cinzas, e maior teor de carbono fixo. De modo geral, em função das características químicas (análise imediata) o carvão vegetal produzido pela madeira de *Eucalyptus saligna* 2864 apresentou melhores propriedades, para fins siderúrgicos. Os resultados obtidos com a *Eucalyptus urograndis* GG100 também indicam a possibilidade de sua utilização para fins siderúrgicos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROOLHAR. **Produção de Carvão Vegetal no Brasil e o atual estágio das tecnologias para aproveitamento dos gases do processo**. 19/05/2014 - <<https://www.agroolhar.com.br/noticias>>. Acesso 27/02/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8112**: Carvão vegetal - Análise Imediata. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8633**: carvão vegetal- determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1986.

FOELKEL, C. E.B. BRASIL, M.A.M. & BARRICHELO, L.E.G. **Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas**. O Papel 1972.

JOAQUIM, M. S. **Carvão vegetal**: uma alternativa para os produtos rurais do sudoeste goiano. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Economia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, São Paulo, 2009.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R.S. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008.

MONTEIRO, D. J. **Rendimentos e características da biomassa torrada e carbonizada do clone de *Eucalyptus urograndis***. 2014. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Tecnologia em Biocombustíveis) - Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2014.

OLIVEIRA, A. C. et al. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell.** Sci. For., Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010

PROTÁSIO, T. P. et al. **Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus***. Sci. For., Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 317-326, set. 2013.



SEMANTICSCHOLAR. **Análise da qualidade do carvão vegetal proveniente da região sul do Brasil**. Curitiba, 2013 < <https://pdfs.semanticscholar.org>> Acesso 27/01/2020.

TRUGILHO, P. F. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de Eucalyptus. **Revista Cerne**, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.

VALE, A. T. Produção de energia do fuste de Eucalyptus grandis hill ex-maiden e Acacia mangium willd em diferentes níveis de adubação. **Revista Cerne**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (Boletim técnico, 1).

ZAMBRZYCKI, G. C. **Potencial energético de biomassas residuais e atributos de solos em ambientes agrícolas e florestais**. Brasília, DF. 2018.